

一起高压断路器功能失效问题的原因分析及改进

姚 林

大亚湾核电运营管理有限责任公司 广东省深圳市 518124

摘 要: 本文以某发电厂高压断路器合闸不成功问题为研究对象,详细阐述了故障现象、设备结构、排查过程、原因分析及改进建议。通过现场检查、回路测试分析及部件拆解,逐步定位故障点。排查过程中,运用失效原因分析表细致分析每个环节的失效可能性,检查分析高压断路器功能失效的根本原因在于设计上已考虑的连接件防松措施在生产过程遗漏,最终导致断路器内部传动机构连接件松脱,高压断路器功能失效。基于该问题,进一步展开可靠性提升思考及改进,完善设备投产前质量管控,为发电厂高压设备的可靠性管理提供实践参考。

关键词: 高压断路器;合闸不到位;传动机构;连接件

引言

高压断路器是电力系统中最重要、最复杂的电器设备,是高压电路中的重要电器元件之一。断路器用于在正常运行时接通或断开电路,故障情况在继电保护装置的作用下迅速断开电路,特殊情况(如自动重合到故障线路上时)下可靠地接通短路电流^[1]。高压断路器是在正常或故障情况下接通或断开高压电路的专用电器,其运行可靠性直接关系到电力系统的稳定性与安全性。

近年来,随着电力系统向高电压、大容量方向发展,高压断路器的运行环境日益复杂,其故障模式也呈现出多样化特征。本次研究聚焦的高压断路器合闸不成功案例,其核心原因指向内部传动机构的异常,此类故障在现有运维经验中较为罕见,暴露出设备设计、制造或长期运行维护中可能存在的隐性缺陷。深入分析该类特殊故障的成因,不仅能为具体故障的解决提供技术支撑,更能为设备全生命周期可靠性管理体系的完善提供重要反馈,对提升高压断路器的安全运行水平具有重要的实践价值与理论意义。

1. 问题描述

某高压开关站涵盖 400kV 和 500kV 两个电压等级,通过联络变压器实现不同电压等级间的电能交换,主接线采用二分之三接线方式,该方式具备较高的供电可靠性和灵活性,可有效保障电网的连续运行。

2021 年 11 月 23 日,在完成联络变压器间隔检修后的送电操作过程中,操作人员依次合上 500kV 侧母线断路器及中间断路器,当联络变压器高压侧实现合环后,网控室监

控系统出现母线装置故障报警信号。运维人员立即对相关电气量进行检查,发现联络变压器对应 500kV 串 C 相的所有电流互感器均未测量到电流,而 A 相和 B 相的相关电流互感器则有正常电流显示,据此分析 500kV 串 C 相存在开路故障。

进一步检查,串内断路器及隔离刀闸机械位置指示到位,通过视窗确认隔离刀闸触头闭合,排除了刀闸设备及断路器外部机构故障的可能性,分析断路器内部存在异常的可能性较高;同时,结合母线断路器合闸后变压器电压显示正常这一现象,推断故障点位于最后操作的中间断路器。

2. 设备简介

该开关站所采用的断路器为 GE 公司生产的 T155-2 型卧式断路器,该型号设备于 2015 年完成制造,2017 年安装并投入运行,通过 SF₆ 气体绝缘。截至故障发生时已稳定运行约 4 年。其三相断路器配置有独立的驱动机构,便于单独维护。

该断路器气室内采用双断口设计,通过中间的传动部件联动实现两个断口的同步分合操作,这种结构能有效降低单个断口的电压负担,提升绝缘可靠性。其传动系统由驱动机构、连杆、传动曲柄等关键部件组成,通过部件的协同配合,实现断路器的可靠动作。

断路器结构如图 1 所示,断路器驱动机构(V)安装于断路器气室下方中间位置。当断路器合闸操作时,断路器驱动机构(V)释放能量,带到主轴驱动绝缘连杆(16)向上运动,绝缘连杆(16)带动 Y 形传动杆(17)、连杆(18)、

换向曲柄（19）、连杆（20），将垂直驱动转换为水平驱动，带动动触头（23）向静触头（25）方向运动，实现两个断口合闸。断路器分闸操作时，缘连杆（16）向下运动，断路器内部传动部件动作方向与合闸相反，动静触头分离，两个断口形成。

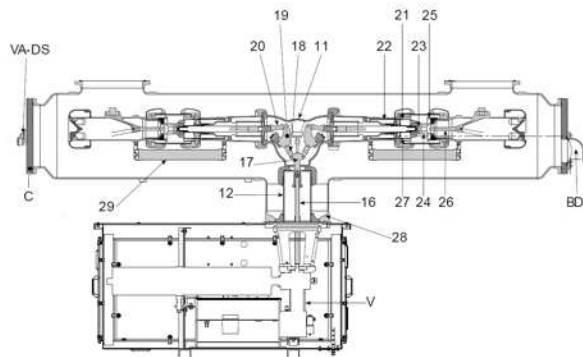


图 1 断路器结构示意图

3. 排查、分析及改进

断路器合闸不成功，在故障位置形成断口，根据气体放电理论，间隙上电压达到一定数值后，将导致气体间隙失去绝缘能力，产生放电^[2]。放电致使 SF₆ 气体发生分解，特征组分为 SOF₂、SO₂、S₂OF₁₀、SOF₂^[3]，同时由可能造成

金属及绝缘部件受损。为评估设备异常后状态及影响，对间隔内气室开展放电产物分析，检测间隔内所有气室均无放电产物。

实施联络变压器 500kV 侧断路器隔离，对 500kV 侧母线侧断路器及中间断路器进行主回路电阻测试，检测中间断路器 C 相不通。检查对应断路器驱动机构指示，如图 2 所示，主动作到位，通过主回路测试确认故障点位于中间断路器 C 相内部。



图 2 断路器驱动机构主动作到位照片

结合断路器本体内部结构，对断路器内部传动机构故障模式及可能性进行分析，如表 1 所示：

表 1 断路器内部故障可能原因分析表

序号	可能故障点 位置标号见图 1	故障模式	支持依据	反对依据	可能性
1	绝缘连杆（16）	绝缘杆断裂	筒状绝缘件，相对强度低	操作过程，有断路器合闸动作声音	低
2	绝缘连杆（16）与叉形杆（17）之间的连接件	连接销钉或卡簧断裂、脱落	连接件存在脱落故障模式	操作过程，有断路器合闸动作声音	低
3	叉形杆（17）本体	金属断裂	金属存在断裂故障模式	叉形杆整体制造金属件，断裂可能性低	低
4	叉形杆（17）与连杆（18）之间连接件	连接销钉或卡簧断裂、脱落	连接件存在脱落故障模式	无	较高
5	连杆本体（18）	金属断裂	金属存在断裂故障模式	连杆本体整体制造金属件，断裂可能性低	低
6	连杆（18）与换向曲柄（19）之间的连接件	连接销钉或卡簧断裂、脱落	连接件存在脱落故障模式	无	较高
7	换向曲柄（19）与传动连杆外壳（11）之间的连接件	连接销钉或卡簧断裂、脱落	连接件存在脱落故障模式	无	较高
8	换向曲柄（19）与连杆（20）之间的连接件	连接销钉或卡簧断裂、脱落	连接件存在脱落故障模式	无	较高
9	连杆（20）与断路器断口机构连接件	连接销钉或卡簧断裂、脱落	连接件存在脱落故障模式	无	较高
10	断路器断口机构	绝缘传动筒断裂	绝缘材料，驱动受力，有可能断裂	成熟设计，型式产品运行情况良好，未收到相关故障反馈。	低

通过梳理，共识别出 10 种故障模式，经分析基本排除 5 种故障模式，叉形杆（17）与连杆（18）之间连接件、连杆（18）与换向曲柄（19）之间的连接件、换向曲柄（19）与传动连杆外壳（11）之间的连接件、换向曲柄（19）与连杆（20）之间的连接件、连杆（20）与断路器断口机构连接件

故障的可能性无法通过分析排除。

针对识别的可能性较高的 5 种故障模式，对断路器气室排空进行内部检查，在气室传动机构下方发现断路器左断口侧脱落的连接件一枚，同时检查右断口侧连接件松动脱出一半，如图 3 所示，脱落及脱出连接件对应表 1 中序号 8 故

障模式。

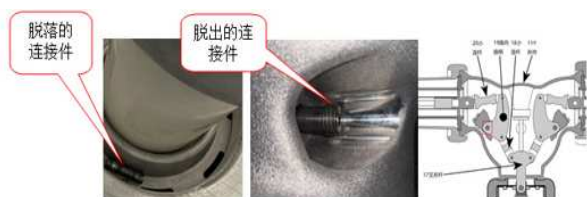


图3 异常连接件

对脱落的连接件进行检查，表面无磨损痕迹，连接件螺纹处未见紧固胶痕迹。按厂家标准生产工艺，此连接件螺纹处应涂抹有螺纹紧固胶，脱落的连接件螺纹处无紧固胶痕迹，分析为制造过程工艺遗漏。断路器操作过程，连接件跟随换向曲柄（19）动作旋出，直至脱落影响传动功能。

拓展对此开关站同批次4台断路器内部连接部位进行检查，该位置存在同类问题，通过采取螺纹紧固胶及铆击方式加强连接件位置固定。

4. 结语

本次高压断路器合闸不成功事件的根源，最终定位为断路器内部传动机构连接件松脱，导致传动功能异常。经核查，该故障模式在设计阶段已被识别，并通过标准安装工艺图册进行了固化，此次故障本质上属于制造环节的质量缺陷。此

类故障影响范围广、潜在风险高，必须予以高度重视。

为避免运行期间再次发生此类功能失效，关键在于强化设备投运前的全流程管控。引申至断路器可靠性管理，笔者建议：从业人员需重点加强断路器内部驱动结构的设计优化与制造过程质量监督，有条件的情况下应在设备制造阶段开展驻厂监造与关键工序见证；对于不具备驻厂条件的场景，务必在设备投运前对内部传动机构连接部位的防松措施进行专项检查与验证，对存在隐患的部位可考虑采取加装防松垫片、点焊固定等加强措施，从源头筑牢设备安全运行的防线。

参考文献：

- [1] 徐国政等. 高压断路器原理和应用 [M]. 清华大学出版社, 2000 年
- [2] 梁曦东等. 高电压工程 [M]. 清华大学出版社, 2003 年
- [3] 鲁钢, 郭江涛, 孙福军, 等. GIS 在局部放电下的 SF6 气体分解产物实验研究 [J]. 高压电器, 2013, 49(06): 10-16. DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2013.06.008.

作者简介: 姚林(1989年8月-), 男, 汉, 辽宁省盖州市, 工程师, 大学本科, 电气高压设备运维及可靠性管理